

УДК 621.735.2:621.93.02

Данилов С.С.\*

### **О ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ РАСХОДЕ МОЩНОСТИ В МАШИНАХ ДЛЯ ПРАВКИ ДИСКОВ ПИЛ**

*Проанализированы дополнительные потери мощности на трение в машинах для правки дисков пил. Получены выражения, позволяющие оценить эти потери и учесть их при проектировании новых машин.*

Машины для правки пильных дисков постоянно совершенствуются [1, 2], одновременно с этим уточняются методы их расчёта. Одной из важнейших особенностей таких машин является то, что правильные ролики имеют цилиндрическую форму. Механизм правки еще достаточно не изучен, однако, одним из важных факторов успешного процесса правки, видимо, как раз и является цилиндрическая форма роликов. Такая форма приводит к тому, что в поверхностном слое пильного диска создаются попеременно растягивающие и сжимающие напряжения, что способствует эффективности процесса правки. С точки зрения механики, такая форма ролика неизбежно приводит к его проскальзыванию по выправляемому диску и, следовательно, дополнительному расходу мощности.

Целью настоящей работы является подробное рассмотрение этого вопроса применительно к подобным машинам для более точного расчета мощности привода.

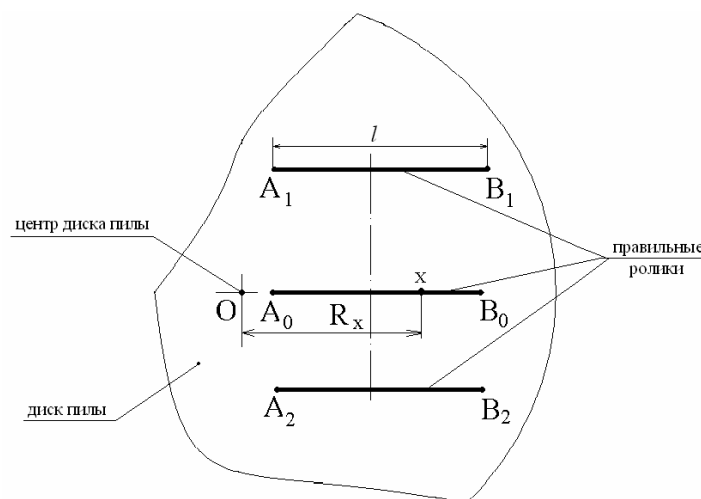


Рис. 1 – Схема расположения правильных роликов по отношению к диску пилы

Действительно, (рис. 1), если принять, что угловая скорость правильного ролика  $A_0B_0$  (длиной  $l$ )  $\omega = \text{const}$ , то и линейные скорости всех его точек, в том числе и в зоне контакта, постоянны.

$$V_p = \omega \cdot r = \text{const}, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус ролика.

\*ПГТУ, канд техн. наук, доц.

С другой стороны скорость  $V_{\text{ax}}$  любой точки диска зависит от её удаления  $R_x$  от центра вращения:

$$V_{\text{ax}} = \omega_o \cdot R_x, \quad (2)$$

где  $\omega_o$  – угловая скорость вращения диска.

Эта зависимость справедлива для всех точек поверхности диска, в том числе и находящихся в контакте с правильными роликами. Получается, что при постоянной линейной скорости точек поверхности ролика, точки, соприкасающегося с ним диска пины имеют различную скорость: вначале (к периферии диска) опережают, в конце (к центру диска) отстают, что неизбежно приводит к взаимному проскальзыванию ролика по диску. Это явление вызывает дополнительный расход мощности, который необходимо учитывать при расчетах привода.

Рассмотрим первый случай: ролик расположен так, что его ось и ось вращения диска  $O$  находятся в одной плоскости (рис. 2).

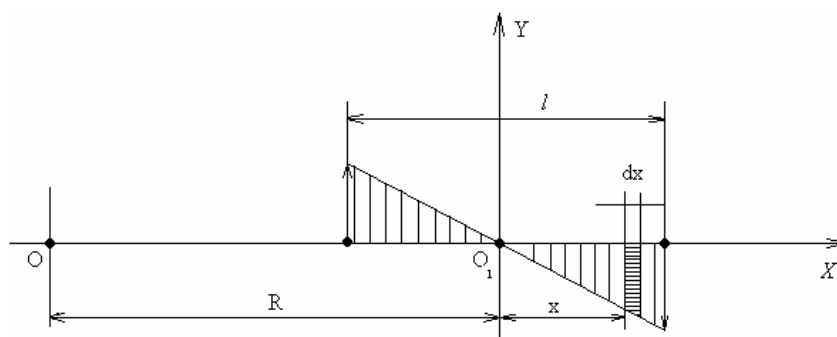


Рис. 2 – Распределение скоростей в контакте ролика с диском

Особенностью такого расположения является то, что силы трения и векторы скорости в каждой точке контакта совпадают. Если обозначить длину правильного ролика через  $l$ , а его радиус через  $r$ , то распределение сил трения в контакте, вызванных разностью скоростей скольжения, представится в виде двух треугольников: одного в зоне отставания, другого в зоне опережения. Видимо, где-то по центру ролика скорости совпадают и скольжение равно нулю. Поместим в этой точке начало системы координат  $x_0y_0$ . Тогда скорость вращения диска:

$$\omega_o = \frac{r}{R} \cdot \omega. \quad (3)$$

В первом приближении определим расход мощности на преодоление сопротивления скольжению только из-за разности скоростей. На самом деле задача более сложная, так как в данном случае не учитывается то, что в процессе правки ролики дополнительно скользят попеременно вначале к центру диска, а потом в обратном направлении.

Если считать силу прижатия  $P$  ролика к диску равномерно распределённой по его длине, то интенсивность сил трения в контакте выразится в виде:

$$q_x = \frac{P \cdot \mu}{l}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения сталь по стали, считаем его величину постоянной на всей длине ролика.

Выделим на контактной поверхности элемент  $dx$ , тогда сила трения будет:

$$dT_x = \frac{P\mu}{l} \cdot dx \quad (5)$$

Ввиду того, что дополнительная мощность на преодоление скольжения ролика по диску расходуется только там, где есть относительное скольжение, найдем разность скоростей на участке  $0 \div \frac{l}{2}$ .

Очевидно, линейная скорость точки диска в контакте с роликом в функции угловой скорости ролика выразится как:

$$V_o = \omega_o (R + x) = \frac{r}{R} \cdot (R + x) \cdot \omega \quad (6)$$

и разность скоростей на участке  $0 \div \frac{l}{2}$  с учетом (1) и (6):

$$V = V_o - V_p = \frac{r}{R} (R + x) \omega - \omega r = \frac{rx}{R} \cdot \omega \quad (7)$$

Предполагая, что на участке ролика  $0 \div \left(-\frac{l}{2}\right)$  происходят те же процессы, получим полный расход мощности:

$$N = 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{P\mu \cdot r}{Rl} \cdot \omega \cdot x dx \quad (8)$$

или:

$$N = \frac{P\mu \cdot \omega \cdot l \cdot r}{4R}. \quad (9)$$

Рассмотрим общий случай - правильный ролик располагается так, что его ось не лежит в одной плоскости с осью вращения диска (рис. 3). Положение ролика в данном случае дополнительно характеризуется величиной  $h$ , т.е. смещением плоскости оси ролика от плоскости оси диска.

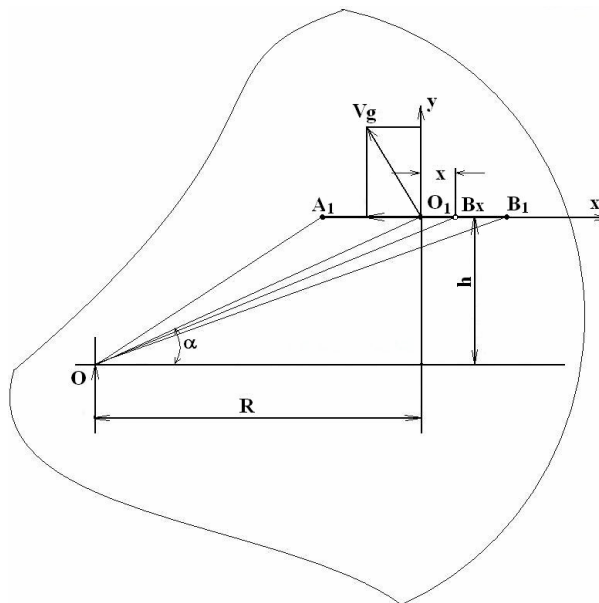


Рис. 3 – Общий случай расположения ролика по отношению к диску

Положение произвольной точки  $B_x$  контакта на расстоянии  $x$  от начала координат определится как:

$$OB_x = \sqrt{h^2 + (R+x)^2}, \quad (10)$$

тогда скорость этой точки, принадлежащей диску:

$$V_{\partial x} = \omega_{\partial} \cdot OB_x = \omega_{\partial} \sqrt{h^2 + (R+x)^2}. \quad (11)$$

и разность скоростей в контакте:

$$V = V_{\partial x} \cdot \cos \alpha_x - V_p = \frac{r}{R} \omega \frac{\sqrt{h^2 + (R+x)^2}}{\sqrt{h^2 + (R+x)^2}} \cdot (R+x) - \omega \cdot r = \frac{\omega \cdot r}{R} \cdot x, \quad (12)$$

здесь угол  $\alpha_x$  определяет текущее положение точки  $B_x$

$$\cos \alpha_x = \frac{R+x}{\sqrt{h^2 + (R+x)^2}} \quad (13)$$

Данное выражение в точности соответствует значению разности скоростей, полученному ранее (7).

Однако в данном случае появилась дополнительная составляющая скорости скольжения, направленная вдоль оси ролика:

$$V_c = V_{\partial} \cdot \sin \alpha, \quad (14)$$

где  $V_{\partial}$  – линейная скорость точки  $O_1$  диска.

$$\text{Очевидно: } V_{\partial} = \omega_{\partial} \sqrt{h^2 + R^2} \text{ или } V_{\partial} = \frac{r}{R} \omega \sqrt{h^2 + R^2} \quad (15)$$

Тогда с учетом (14), (15) получим:

$$V_c = \frac{r}{R} \cdot \omega \cdot \sqrt{h^2 + R^2} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + R^2}} = \frac{rh\omega}{R}, \quad (16)$$

$$\text{где} \quad \sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2 + R^2}}. \quad (17)$$

Что касается сил трения в остальных точках, т.е. по всей длине контактной линии, то в действительности они направлены по касательной к траектории каждой точки контакта ролика с диском. Учет этого явления неоправданно усложняет задачу, поэтому с незначительной погрешностью можно считать силы трения направленными перпендикулярно радиусу  $OO_1$  (рис. 3).

С учетом всего сказанного и по аналогии с ранее рассмотренным случаем, найдем общие потери мощности на одном ролике:

$$N = 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{\omega \cdot r \cdot P \cdot \mu \cdot x \cdot \cos \alpha}{Rl} \cdot dx + 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{\omega \cdot r \cdot h \cdot P \cdot \mu \cdot x \cdot \sin \alpha}{Rl} \cdot dx \quad (18)$$

или после преобразований:

$$N = \frac{P \cdot \mu \cdot \omega \cdot r}{R \cdot \sqrt{h^2 + R^2}} \cdot \left( \frac{R \cdot l}{4} + h^2 \right). \quad (19)$$

Эта зависимость является общей для любого случая расположения роликов. Так, например, для частного случая, рассмотренного ранее  $h = 0$ , она преобразуется в формулу (9).

Общие потери мощности, расходуемой на преодоление сопротивления скольжению  $n$  роликов, составят:

$$N = \sum_{i=1}^n N_i, \quad (21)$$

где  $N_i$  определяется для каждого ролика зависимостью (19).

#### Пример\*

Для пятироликовой правильной машины правки пильных дисков рассчитать потери мощности на трение скольжения под каждым роликом и суммарные потери по следующим данным (рис. 4):

$R_{\min} = 400$  мм,  $r = 125$  мм,  $l = 250$  мм,  $h_{2,4} = 135$  мм,  $h_{3,5} = 270$  мм,  $P = 100$  Кн,  $\omega = 1,5$  с<sup>-1</sup>.  
Ход роликов при правке  $R_{\max} - R_{\min} = 600$  мм. Трени сухое  $\mu = 0,18$ .

Полученные данные сведены в таблицу 1, а также графически представлены на рис. 5.

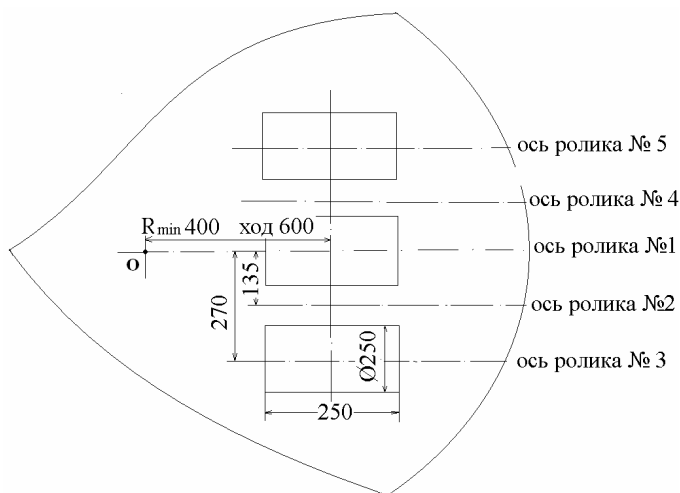


Рис. 4 – Схема расположения роликов пятироликовой правильной машины для пильных дисков

Таблица 1 – Расход мощности (кВт) на преодоление сил трения в зависимости от положения роликов на диске

№№ роликов	Расстояние роликов от центра диска, мм						
	400	500	600	700	800	900	1000
1	0,52	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21
2	0,86	0,64	0,51	0,42	0,35	0,31	0,27
3	1,71	1,24	0,94	0,75	0,64	0,52	0,44
4	0,86	0,64	0,51	0,42	0,35	0,31	0,27
5	1,71	1,24	0,94	0,75	0,64	0,52	0,44
Суммарные потери, кВт	5,66	4,18	3,25	2,64	2,24	1,89	1,63

\*В работе принимал участие студент А.В. Матвеев.

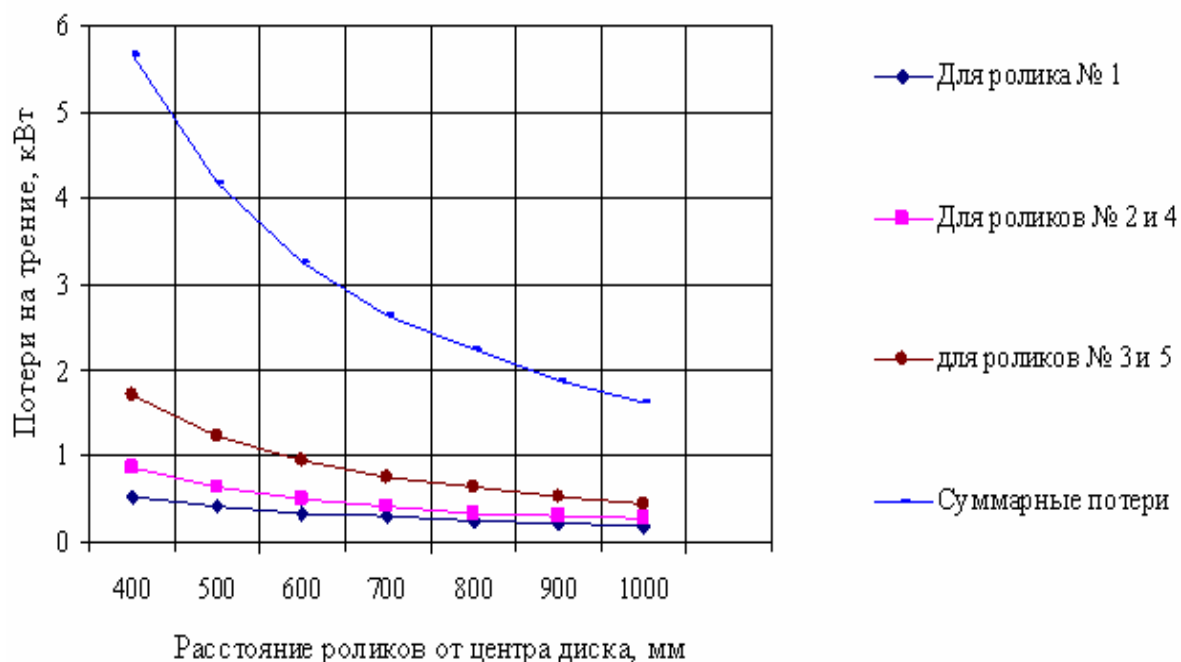


Рис. 5 – График расхода мощности на трение скольжение при правке дисков пил

Как видно из графика, дополнительные потери мощности на трение не остаются постоянными в процессе правки, а значительно возрастают по мере приближении правильных роликов к центру диска пилы.

#### *Выводы*

В силу специфики конструкции правильных роликов машин для правки пильных дисков неизбежно их проскальзывание по диску. Это приводит к дополнительному расходу мощности в процессе правки. Получены зависимости, позволяющие учесть это явление и определить дополнительные потери мощности на трение скольжения в функции расположения и хода роликов по отношению к диску пилы. При проектировании новых подобных машин эти дополнительные потери должны учитываться.

#### *Перечень ссылок*

1. Пат. 2003403 Россия, МКИ С1 В21Д 1/02 Машина для правки дисков из листового металла.
2. Пат. 2013157 Россия, МКИ С1 В21Д 1/02 Машина для правки пильных дисков.

Рецензент: А.А. Ищенко  
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 10.12.2007